

附件二②

第二篇 (請底線為左右欄重複處)

主 張 抄 襲

主 張 被 抄 襲

2015 臺灣及東亞鄰近地區氣候變遷下對農業災害損失及空氣汙染之社會成本評估

(I)

科技部補助專題研究計畫成果報告

執行單位：國立中興大學應用經濟學系(所)

計劃主持人：陳吉仲

計劃參與人員：專任助理人員邱鈺婷

兼任助理人員王琬昀

(本院自卷三 P209-229)

壹、緒論

氣候變遷所導致的經濟損失主要是集中在農作物、漁業、水資源以及人類健康(或公共衛生)等四部門，其中農業部門是氣候變遷相關災害下受創最深之產業(Sivakumar, 2006)。近年的極端氣象災害的頻率增加，使得農作物在生產階段時的面積縮減，對全球的作物會造成廣泛的傷害(Adams et al., 1998；Rosenaweig et al., 2002)。

美國麻省理工學院(MIT)全球變遷科學中心主任 Prinn(2014)在臺灣發表專題演說時，透過近年來來的極端氣候事件，如颱風、乾旱以及夏季北極海冰的減少來突顯氣候變遷問題的緊迫性與重要性，進一步指出全球氣候變暖會導致高緯度地區雨水增多，中低緯度乾旱增加。

氣候變遷的發生，對農作物生產有利有弊，需看氣候變因的強弱及發生時機而定，而氣候變遷所出現的不規則災害性天氣，及難以準確估測的病蟲害流行的更迭，將嚴重干擾農作物的正常生產。而在探討氣候變遷的問題中，除了氣候暖化的研究與衝擊受到重視外，氣候變異性(climate variability)所導致的災害性天氣更格外引起國際間注意。

(被證 5)2007/08/08 川柏斯
氣候越颶風越強-科學人雜誌

海洋是颶風的溫床

海面溫度是颶風生成的關鍵要素之一，科學家對近年的颶風型態感到好奇，所以就想要知道海溫在過去數十年有什麼改變，而颶風的數量、大小、強度又隨著改變了多少。如果海溫真的對颶風有影響，那人類活動導致的全球暖化，會導致海溫上升的主要原因嗎？還有，2004、2005 這兩個破紀錄的年份，有什麼特別的環境條件？科學家已經很了解，溫室氣體（例如，燃燒化石燃料產生的二氧化碳）大量累積會讓地球變暖，然後讓海溫升高，水氣的製造量也會變多，使颶風形成前的對流運動更容易發生。在 2005 年之後，我們的問題是：海溫真的升高了嗎？全球暖化究竟讓海溫升高了多少？

1970 年之前，衛星觀測尚未普及，全球颶風的數量統計並不可靠，但氣候學家認為，熱帶北大西洋的颶風記錄從

1944年起就很可信了，因為偵查飛機開始定期監測熱帶風暴。查看歷史記錄後，我們發現，1994年起，有命名的北大西洋風暴和颶風數量逐漸增加，值得注意的是，北緯10~20度的北大西洋海溫也上升了，這和颶風數量的增加非常吻合，這股變暖的海水由非洲延伸到中美洲，而且正好位在赤道北邊，是颶風形成的重要地區。

有些科學家認為，1994年以後北大西洋的海溫上升，只不過是反映大西洋多年代振盪（AMO）的影響而已。AMO是一種自然循環，北大西洋海溫在保持數十年的相對低溫後，會升高數十年，之後又逐漸降低（最大溫差約0.5°C）。專家認為，這種循環源自洋流的變化（例如環繞大西洋的墨西哥灣流帶來的暖流）和海洋較深處的回流。1970年代起，直到1990年代早期，北大西洋的海溫比較低；1990年代以後，AMO再回到較暖的狀態，颶風形成數目比低溫時期來得多。不過，從電腦模式來看，AMO循環並不能完全解釋颶風為什麼自1995年起大量增多，也無法解釋2005和2006年發生了什麼事。

雖然，人類大量排放溫室氣體到大氣裡，就像正在行一場無法控制的大型環境實驗，然而氣候學家卻無法真正進行改變地球的實驗，他們必須改用氣候模式，才能測試影響海溫和颶風的各種因素。這些模式的目標是重現所有影響氣候的重要物理、化學、生物過程。在多年努力之後，美國國家大氣研究中心（NCAR）以及其他研究單位的科學家，發展出一套全球氣候模式，可以合理重現過去一世紀以來全球大氣、

在東亞地區，較受到關心的災害性天氣為颱風、豪雨、乾旱與寒害等四大氣象災害。根據臺灣及日本官方資料統計，近十年間(2004年到2013年間)，發生侵襲颱風共計72次；而發生侵襲日颱風次數則共計30次。日本自1993年到2012年間因災害性天氣所造成農業氣象災害損失金額達11,719,259百萬元，其中農作物的損失金額為3,474,695百萬元，而農業設施造成之傷害為8,244,564百萬元(日本農林水產廳, 2012)。而臺灣近十年來的天然災害所造成農業損失之統計資料，發現因天然災害所導致的農業損失金額共高達685億元(臺灣農業年報)。過去資料顯示，在臺灣過去平均每19年會發生一次水災，現在則平均每2年發生一次；過去平均每17年發生一次旱災，現在則平均每9年會發生一次旱災，亦即災害發生之頻率已越來越頻繁。所以東亞地區無論是現在或是未來的世界將不是旱災就是水災(李鴻源, 2011)。

稻米是主要糧食來源，也是農業生產中最主要的農作物之一，而亞洲是栽種稻米總面積最高的區域，依據聯合國國際糧農組織(Food and Agriculture Organization, FAO)的統計，2013年亞洲地區稻作栽培面積、生產量與單位面積產量的資料顯示，栽培總面積約1.37億公頃，產量約為6.07億公噸，其中南亞、東南亞及東亞等三個地區為最主要生產區域，約占全球的90%。根據農委會統計，過去30年間造成臺灣稻米的自然災害，颱風造成的損失金額就占總損失金額的60%。而同為稻米主要生產區域的其他亞洲地區，如日本與菲律賓對於颱風造成稻米損失亦有相關之實證研究，由此可知颱風對於稻米損失在亞洲國家是備受重視的議題(Yamagata et al., 1988；Yamamoto et al., 2000；Ji et al., 2002；Yamamoto and Iwaya, 2006；Lansigan et al., 2000)。

在天然災害中，熱帶氣旋對於農作物之損害最為嚴重，而全球氣候變遷可能為熱帶氣旋生成之影響因素。溫室氣體的排放對於全球氣候變遷造成的影響是世界各國都相當重視的議題。而其中大氣層中的溫室氣體主要包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氟氯碳化物(CFCs)及臭氧(O₃)等氣體，而二氧化碳的含量遠大於其他氣體的含量，因此二氧化碳所造成的溫室效果為最

大。為減緩氣候暖化速度，聯合國於1992年制定《氣候變化綱要公約》，1997年通過《京都議定書》及2007年訂定《峇里行動計畫》，對溫室氣體排放提出一系列之政策、目標及方向，希望世界各國共同努力，維護人類生存環境。

對於未來氣候變遷的形式，根據圖1未來氣候變遷預估的流程可知，若不積極抑制全球溫室氣體排放，未來可能需面對龐大的環境衝擊與經濟損失(柳中明，2010)。

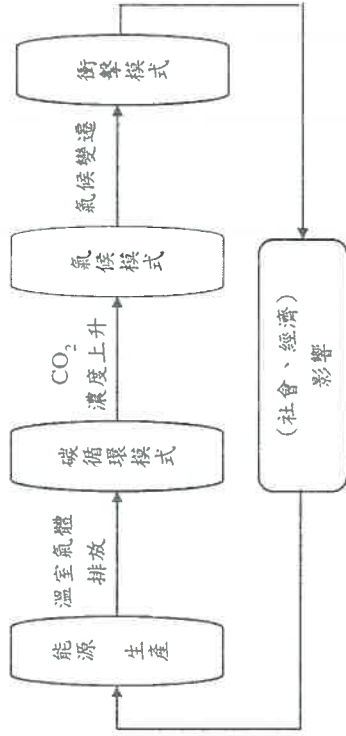


圖1 未來氣候變遷之影響流程圖

資料來源：柳中明(2010)

圖1 未來氣候變遷之影響流程圖

資料來源：柳中明(2010)

熱帶氣旋活動受海溫之影響非常大，因此我們能夠推論全球暖化將導致海溫變化，進而影響熱帶氣旋之生成與強度。SANTER(2007)將熱帶大西洋與太平洋的暖化歸因於人為溫室氣體的增加，初步估計，1970年起全球暖化導致海溫增加了0.6°C，海溫增加的幅度可能會大幅影響熱帶風暴的強度，就像卡崔娜颶風經過墨西哥灣流的時候，海溫若上升1°C，可能讓颶風之強度增加一個等級。

綜上所述，氣候變遷可能影響颶風之生成頻率及強度，而臺灣與日本每年遭受颶風之侵襲次數頻繁，因此本研究主旨為估計颶風對於臺灣及日本稻米之損失影響及探討全球二氧化碳排放量對於西北太平洋熱帶氣旋生成頻率與強度之關

海溫的實際變化。模式也把其他變因考慮進來，包括大氣化學成份的變化、太陽的能量輸出，或是大型火山噴發產生的灰燼阻隔太陽輻射，讓全球氣溫暫時降低一、兩年。

透過氣候模式，我們能單獨研究人類造成的變化（例如，排放煙塵和污染物到大氣裡），並且估計改變的後果。研究結果顯示，剔除AMO因素之後，大西洋暖化和人為導致的大氣增溫有關係。美國勞倫斯利佛摩國家實驗氣候學家桑德(BEN SANTER)與同事最近發表一項研究，把熱帶大西洋與大洋的暖化歸因於人為溫室氣體的增加。初步估計指出，1970年起，全球暖化導致海溫增加了0.6°C，雖然這樣的海溫增加幅度聽起來很小，卻能夠大幅影響熱帶風暴的強度，就像卡崔娜颶風經過墨西哥灣流的時候，海溫若上升1°C，可能讓颶風之強度增加一個等級（例如從第二級變成第三級）。

熱帶氣旋活動受海溫影響非常大，因此我們能夠推論：全球暖化讓熱帶風暴更加強烈。2005年6月，我在《科學》發表的論文中，詳細討論了海溫與熱帶風暴的關聯，兩個月後，麻省理工學院的伊曼紐（Kerry Emanuel）在《自然》發表直接的觀測證據，我們兩人的研究是完全獨立進行的。伊曼紐證明，1970年之後全球氣旋強度與生命期的顯著增加，和海溫增加有關，就算根據其他專家提出的質疑修正結果，也只小幅改變某些特定的相關性，整體結論並不會改變。

2005年9月，喬治亞理工學院的韋布斯特（Peter

聯。

本文研究架構及內容如下:共計五節,除緒論外,第二節為文獻回顧,第三節則介紹研究方法,第四節說明實證結果分析及第五節之結論與未來研究方向。

貳、文獻回顧

一、熱帶氣旋介紹

熱帶氣旋是在熱帶海洋上生成的低氣壓系統,常伴隨強風及劇烈降雨,通常發生在熱帶和副熱帶許多沿海國家和地區的嚴重自然災害。在描述熱帶氣旋的強度時,各國有不同的強度定義及稱謂,如表 1。目前學術界常以美國聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)定義,將西北太平洋的熱帶氣旋依其強度分為熱帶低壓、熱帶風暴、颱風及超級颱風。

表 1 各國氣象單位對於熱帶氣旋分級表

氣象單位	中華民國 中央氣象局 (風速為 10 分鐘平均)	日本氣象廳 (風速為 10 分鐘平均)	美國聯合颱風警報中心 (JTWC) (西北太平洋區) (風速為 1 分鐘平均)
風速(m/s)			
17.2-24.4	輕度颱風	熱帶風暴	熱帶風暴
24.5-32.6		強烈熱帶風暴	(Tropical Storm, TS)
32.7-42.5		強颱風	颱風
42.6-49.2	中度颱風		(Typhoon, TY)
49.3-50.9		非常強颱風	
51.0-58.1		猛烈颱風	超級颱風
58.2-66.6	強烈颱風		(Super Typhoon, ST)
66.7-69.2			
> 69.3			

資料來源：中央氣象局。

資料來源：中央氣象局。

颱風經常發生在 5°N-25°N 和 5°S-25°S 左右的熱帶洋面上,如西北太平洋菲律賓群島以東、南海以及日本以南的海面上;美洲的墨西哥灣和西印度群島一帶;北印度洋孟加拉灣和阿拉伯海一帶;東太平洋的中美洲西岸海面;南印度洋非

Webster) 和同事在《科學》發表研究,證明 1970 年以後,四級和五級颶風的數量,有明顯的增加,而且佔所有颶風的比例也增加了,他們認為,既然我們已經觀測到海溫升高,颶風的數量本來就應該跟著增加。

(被證 6)(時間不詳)愛情公寓網站

「失色的台海上空-雪豹」

今次想轉載一篇有關颱風氣象知識的報告文獻與每位好友分享,傻蛋本人覺得還不錯,既然是好的當然要與好友分享,其文獻如下。颱風災害(中央氣象局 陳正改).....

(三) 颱風的分布

颱風是熱帶洋面上的「特產」。它經常發生在 5°N-25°N 和 5°S-25°S 左右的熱帶洋面上,如西北太平洋菲律賓群島以東、南海以及日本以南的海面上;美洲的墨西哥灣和西印度群島一帶;北印度洋孟加拉灣和阿拉伯海一帶;東太平洋的中美洲西岸海面;南印度洋非洲東岸的馬達加斯加島附近,澳洲的東岸和西北太平洋海面。全球每年發生颱風約 80 餘個,其中半數以上生在北太平洋(北太平洋又以西北太平洋颱風發生次數最多),北半球約佔總數的 76%,南半球約佔 24%,東南太平洋和南大西洋則沒有颱風生成。影響臺灣的颱風,大多數發生在西北太平洋。這裡的颱風佔全球颱風的 33%。其源地有:菲律賓以東海域、加羅林群島附近海面和南海。以加羅林群島為最多,菲律賓以東海域次之,南海較少。北半球的颱風主要發生在七月至十月,南半球的颱風主要發生在十二月到翌年三月,其他季節明顯減少。北半球的颱風以八月最多,二月最少。颱風形成以後,具有一定的移動路徑。以西北太平洋颱風為例:在冬春季(十一月至翌年五月),颱風主要在 130°E 以東的海面上轉向北,在 16°N 以南往西

洲東岸的馬達加斯加島附近，澳洲的東岸和西北岸附近，全球每年發生颱風約 80 餘個，其中半數以上生在北太平洋(北太平洋又以西北太平洋颱風發生次數最多)，北半球約佔總數的 76%，南半球約佔 24%，東南太平洋和南大西洋則沒有颱風生成。

而颱風形成因素目前尚無確切的定論，在夏季，因為太陽直射區域由赤道向北移，致使南半球之東南信封越過赤道轉向成西南季風侵入北半球，和原本北半球的東北季風相遇，增加對流作用，在因西南季風和東北信風方向不同，相遇時常造成波動和漩渦。這種西南季風和東北信風相遇所造成的輻合作用，和原來的對流作用繼續不斷，使已形成為低氣壓的漩渦繼續加深，也就是使四周空氣加快向漩渦中心流，流入愈快時，其風速就愈大；當近地面最大風速到達或超過每秒 17.2 公尺時，就稱它為颱風(中央氣象局)。

已有許多研究指出西北太平洋的熱帶氣旋活動之年際(週期超過年以上)變化和聖嬰現象(Chan,1995)或更長週期的年際變化(Chan and Shi,1996；Ho et al., 2004)等都有密切相關；而這幾個氣候因子之間又互相影響，如 1970 年代末期的太平洋年代震盪的相位轉變，不僅改變了太平洋海氣環流(Niita and Yamada, 1989；Trenberth, 1990；Graham, 1994；Trenberth and Hurrell, 1994)，也引起聖嬰-南方震盪的年代際變化(Wang, 1995)。鑒於聖嬰對西北太平洋熱帶氣旋活動的影響顯著，Chan and Liu(2004)特別強調在推估未來熱帶氣旋強度的變化時，必須將聖嬰-南方震盪如何隨全球暖化變化的因素一併考慮進去(臺灣氣候變遷推估與資訊平臺建置 Taiwan Climate Change projection and Information platform，TCCIP)

二、氣候變遷介紹

根據聯合國研究，亞洲在 2000 年至 2008 年間承受全球最多的天氣及氣候災難；約有 1/2-2/3 的百萬級(或以上)的亞洲城市人口暴露在颶風和洪水等一種以上的天然災害中。而水災造成的傷亡和經濟損失又以印度、孟加拉與中國最為慘重。聯合國跨國氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate

進入南海中南部或登陸越南南部，還有少數在 120 E~125 E 的近海轉向北，少數颱風也可能在五月和十一月登陸廣東；在過渡季節的六月和十月，颱風主要在 125°E 以東海面上轉向北，西行路徑較北，15°N~20°N 之間，少數可登陸廣東、臺灣、福建、浙江。在七月至九月的盛夏颱風季節，路徑更往北、往西偏移，從而造成臺灣及中國大陸從廣西到遼寧的沿海省份在此季節都有可能遭受颱風的侵襲。由於上述颱風源地的分布和登陸特性，在全世界形成受颱風侵襲的三個主要區域：孟加拉灣北部及沿海地區；臺灣、中國東南沿海、日本和東南亞國家；加勒比海地區和美國東海岸。其中以孟加拉灣北部及沿海地區受颱風侵襲最為頻繁和嚴重。

(被證 7)大氣科學期刊
東亞/西亞太平洋氣候變遷

101.2.9 收稿；101.5.4 定稿
吳宜昭等九人

三、東亞氣候變遷—季風

(一)夏季季風

已有許多研究指出，在全球暖化背景下，季風環流也改變中。Guo et al. (2003)發現 1951 年至 2000 年間東亞季風在減弱中。根據過去五十多年(1958~2010)來的觀測，不論是南亞地區高、低對流層垂直風切逐漸減小(圖 1)或東亞地區低對流層大氣盛行風在冬、夏季的對比逐漸減小(圖 2)，都同樣反應出亞洲季風減弱的趨勢。IPCC 第四次評估報告(IPCC 2007)也指出，有些研究發現東亞 7、8 月對流層有變冷的趨勢，同時伴隨副熱帶高空噴流的南移和東亞季風的減弱，造成了中國北方乾旱及長江流域降雨增多、洪澇增加的趨勢(Yu et al. 2004)。另外，有些研究指出亞洲季風的減弱和

Change, IPCC) 第五次氣候變遷評估報告(AR5)指出氣候變遷越發強烈，亞洲亦無能倖免。研究指出科學界有高度信心相信過去一個世紀以來，暖化趨勢和極端氣溫事件已在亞洲大多數地區出現，包括暖日增加、冷日減少，平均溫度上升及降水量變化提高等。並預測未來亞洲許多地區恐將面臨缺水危機、糧食產量下降等問題。在氣候變遷與都市、工業與經濟發展的多重壓力壓迫之下，緊縮的自然資源與惡化的環境將削弱大部份亞洲開發中國家的永續發展能力。

IPCC 第五次氣候變遷評估報告(AR5)同時也指出東亞地區的陸地或海面上都有顯著的暖化趨勢，也是全球增溫較快之地域之一，自 1948 年以來，東亞陸地上(如中國北方及東部)均呈現顯著的增溫；在海面上，副熱帶西太平洋均呈現增暖趨勢。影響東亞地區熱帶氣旋生成最重要的因素為亞洲季風，亞洲季風起源於全球最大陸地-亞洲大陸和印度洋及太平洋的海陸熱力對比，是全球季風系統中最龐大的一支。東亞季風為亞洲季風的子系統之一，地理範圍包括北半球副熱帶約 20°N-45°N、110°E-140°E 之間的區域，即中國東部、韓國、日本、臺灣以及這些地區外圍的海域 (Wang and Lin Ho, 2002)，對東亞的氣候有主導性的影響。東亞季風區中，夏季以南來的西南季風為主，環流主要結構包括亞洲大陸上的低壓環流及太平洋上的太平洋副熱帶高壓。冬季以東北季風為主，環流主要由亞洲大陸上的西伯利亞高壓和海上的阿留申低壓組成(Chang, 2004；Webster et al., 1998)。

隨著全球暖化，季風環流也有了改變。Guo et al. (2003)發現從 1951 年到 2000 年間東亞季風在持續減弱中。根據過去五十多年 (1958 年到 2010 年) 的觀測，不論是南亞地區高、低對流層垂直風切逐漸減小或東亞地區低對流層大氣盛行風在冬、夏季的對比逐漸減小，都同樣反應出亞洲季風減弱的趨勢。IPCC 第四次評估報告(AR4) (IPCC, 2007) 也指出，Yu et al. (2004) 研究發現東亞七、八月對流層有變冷的趨勢，同時伴隨副熱帶高空噴流的高移和東亞季風的減弱，造成了中國北方乾旱及長江流域降雨增多、洪澇增加的趨勢。另外，有些研究指出亞洲季風的減弱和中國東部夏季雨帶的高移有很好的關係 (Zhai et al., 2004)

中國東部夏季雨帶的高移有很好的關係(Zhai et al. 2004)。

不過，必須注意的是若將分析時間向前回溯，此季風減弱的趨勢可能不那麼顯著。IPCC 第四次評估報告就指出，以 Guo et al. (2003) 的定義將東亞季風的長期變化向前延伸至 1850 年代，季風減弱的趨勢就不顯著，這是因為 1850 年代至 1940 年代之間年代際尺度的變化較明顯。另外，即使是近幾十年季風減弱趨勢較顯著的時期，仍有些研究認為亞洲季風的改變是伴隨著 1976/ 1977 年的氣候遷移而發生的 (Wang 2001)，而且此改變與聖嬰在這期間的變化有密切的關係 (Huang et al. 2003, Qian et al. 2003)。

2007 年以後對東亞夏季季風最新的研究進展主要分為兩大類：一是對趨勢的研究，例如發現不只是東亞季風，幾乎全球季風區，都呈現減弱的趨勢(Zhou et al. 2008)；二是發現 1970 年以後東亞夏季季風和聖嬰的關係進一步加強了，這是明顯的年代際變化特徵(Wang et al. 2008)。此外，有些研究認為東亞夏季季風並沒有減弱，而是向南移了(Li et al. 2010)，尤其在中國長江流域的夏季降水呈現明顯增強的趨勢，是因為東亞夏季季風降雨中心的位置變化而導致的結論，其實與東亞季風減弱的趨勢並不矛盾。

三、農作物災害損失相關文獻

溫室效應將會導致長期氣候變遷與短期天氣之變異性增加，「全球暖化」特別是指靠近地表面或是海表面的全球平均氣溫隨著時間逐漸升高的現象。但近年來「全球暖化」的名詞漸漸被「氣候變遷」取代，強調氣候的改變，不僅只有溫度的變化，更包含各種氣象災害的侵襲。

因氣候變遷導致的氣候變化可分為長短期兩方面，長期的氣候變化是指溫度及雨量的趨勢變化；而短期方面則是以聖嬰現象(El Niño-Southern Oscillation，簡稱 ENSO)區域氣候變化為主，近年來有許多學者利用不同模型及方法研究氣候變遷對於農作物之影響(Adams et al., 1995；Reilly, 1996；Hansen et al., 1998；Asseng et al., 2011；Lobell et al., 2011)

氣候變遷對亞洲的影響很可能會隨地區與作物而異，但整體來說可能弊大於利，並且將在本世紀(21 世紀)中之前對亞洲的糧食安全造成衝擊。而針對亞洲主食稻米，部份生產區可能隨全球暖化北移而拉長生長季，但整體產量恐因高溫而減少，尤其是某些亞洲水稻區已逼進高溫臨界點。儘管二氧化碳濃度提高可促進作物生長、抵消高溫減產的損失，但補償效果可能有限(IPCC,2013)。

Lai and Wu(2008)使用 1971 年到 2007 年臺灣稻米颱風損失資料，檢定與配適年損失頻率與損失幅度的分配，其次應用極值理論估算稻米遭受颱風損失情形，並且估計極端損失分配的尾部風險衡量，結果顯示臺灣稻米颱風損失之年損失頻率與損失幅度兩者之間是相互獨立，及年損失頻率服從 Poisson 分配，若不考慮極端損失的影響，損失幅度服從 Log-normal 或 Log-gamma 分配。朱蘭芬(1992)指出臺灣政府若能正確預測聖嬰現象並將此資訊公開，便能增加社會福利及為社會帶來 22 億 8 千 5 百萬元的經濟報價。

Horie et al.(1995)利用 SIMRIW 及 ORYZA1 兩種模式，分析日本農業產區在二酸化碳濃度增加的情況下，當濃度增加 100ppm 則稻米的產量則會增產 7-8%

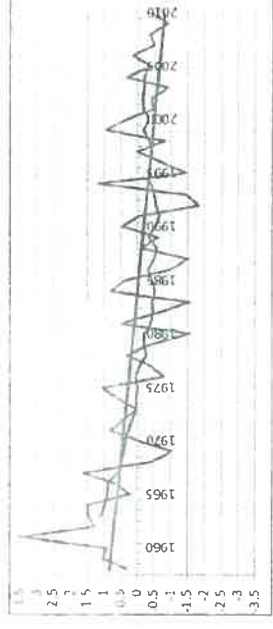


圖 1 1958 年至 2010 年 Webster and Yang (1992) 定義之夏季季風指數變化，早現之時間序列為已經對於標準差進行標準化後的指數數值，指數定義為 10°N~40°N、110°E~140°E 區域平均之 850hPa 緯向風。本圖以 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996) 資料計算，藍線為各年之值，紅線為 11 年移動平均，綠線為長期線性趨勢。

圖 1

1958 年至 2010 年 Webster and Yang (1992) 定義之夏季季風指數變化，呈現之時間序列為已經對於標準差進行標準化後的指數數值。指數定義為 10°N~40°N、110°E~140°E 區域平均之 850hPa 緯向風減去 200hPa 緯向風。本圖以 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996) 資料計算，藍線為各年之值，紅線為 11 年移動平均，綠線為長期線性趨勢。

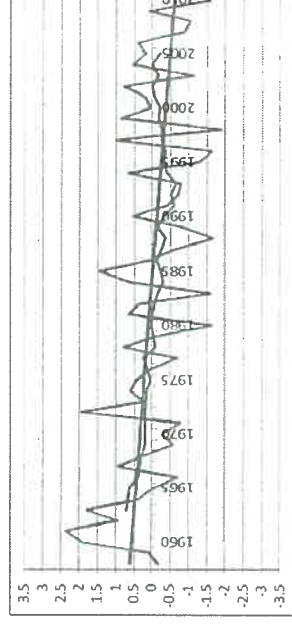


圖 2 1958 年至 2010 年 Li and Zeng (2002) 定義之夏季季風指數變化，早現之時間序列為已經對於標準差進行標準化後的指數數值。本圖以 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996) 資料計算，範圍為 10°N~40°N、110°E~140°E 區域平均，紅線為 11 年移動平均，綠線為長期線性趨勢。

圖 2

1958 年至 2010 年 Li and Zeng (2002) 定義之夏季季風指數變化，呈現之時間序列為已經對於標準差進行標準化後的指數數值。本圖以 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996) 資料計算，範圍為 10°N~40°N、110°E~140°E 區域平均，綠線為長期線性趨勢。

(二) 冬季季風

及 16-17%，但若溫度及二氧化碳濃度同時增加則部分地區的稻米將會減少的情形；Yao et al.(2007)以 CERES-rice 作物模型、氣候變化 B2 的情景與區域氣候模式(RCM)下 2071 年到 2090 年對中國稻米產量的影響，結果顯示在沒有二氧化碳的影響下，則與稻米產量呈現負相關，而產量變動最大的地區則為南京，其次為廣州。

Yu et al.(2014)利用 Agro-C 模型估計 2000 年到 2009 年每日資料模擬未來氣候變化、二氧化碳施肥、及作物適應性三項因素在四種情境下對於中國稻米產量的相互作用的影響。結果指出當 2040 年時中國稻米的產量會因為氣候變遷每公頃將減少 0.22 公噸，在恆定的種植季節下每公頃將增加 0.44 公噸，而在有二氧化碳施肥的情形下每公頃將增加 1.65 公噸，並推測未來氣候變遷主要發生在中國的西北及東北地區。

Karims et al.(1996)以全球氣候模型(GCMs)模擬孟加拉稻米產量的變動，研究結果顯示，若考慮二氧化碳的直接影響下，稻米產出約減少 35%。Matthews et al.(1997)使用 ORYZA1 及 SIMRIW 兩種作物模型以模擬在六種不同情境下的中國與孟加拉稻米產量情況，結果顯示，不同地區的氣候條件對稻米的產量有正亦有負，而不同的氣候變遷情境有不同的影響幅度，如未來氣候變遷將會導致孟加拉稻米產量減產 5-22%。Krishnan et al.(2007)估計氣候條件會造成印度稻米產量減產 3-14%，在美國方面，則會造成稻米產量減產 6-25%。

Amienl et al.(1996)利用 Decision Support System for Agro-technology Transfer(DSSAT)模式，模擬印尼爪哇(Java,Indonesia)地區氣候變化對產量的影響，結果發現，輻射量的減少與聖嬰現象都有可能造成產量的減少，而二氧化碳增加的產量可以補償因為溫度增加而減少的產量。

Rosenzweig and Iglesias(1994)指出溫度增加 2-4°C、降雨量增減 20%及二氧化碳濃度增加，對農作物產量造成的衝擊如下：巴基斯坦的小麥產量為減產 61%-增產 67%、印度的小麥產量為減產 50%-增產 30%，菲律賓、泰國、孟加拉的

(以下略)

四、西北太平洋氣候變遷—熱帶氣旋
熱帶氣旋(Tropical Cyclone, TC)的活動同時受到大氣熱力和動力條件規範。隨著全球暖化，海平面溫度上升可能增加低層大氣的水氣和濕靜能，這些熱力條件的改變有利於熱帶氣旋的生成和發展(Gray 1979)。但在全球暖化背景下，大氣環流改變時動力因素的改變（如季風系統中環流的變化及伴隨的垂直風切、駛流場等改變）也會影響熱帶氣旋的生成、發展及路徑，因此熱帶氣旋活動的長期變化受到許多因素控制。

西北太平洋季風的主體環流是季風槽，是孕育熱帶氣旋的溫床。相較於前述近五十多年來東亞夏季和冬季季風呈現減弱趨勢，以 Wang et al. (2001)定義來量度西北太平洋季風強度並分析其長期變異，發現近五十年來西北太平洋季風強度並無明顯趨勢，但有明顯年際變化（圖省略）。西北太平洋熱帶氣旋活動亦有明顯年際變化，和聖嬰(Chan 1985, 2000, Lander 1994, Chen et al.1998, Wang and Chan 2002)、平流層準雙年震盪(Chan.1995)或更長週期的年代際變化(Chan and Shi.1996: Ho et al., 2004)等都有密切相關；而這幾個氣候因子之間又互相影響，如 1970 年代末期的太平洋環流(Niita and Yamada, 1989: Trenberth, 1990: Graham, 1994: Trenberth and Hurrell, 1994)，也引起聖嬰-南方震盪的年代際變化(如 Wang, 1995)。鑒於聖嬰對西北太平洋熱帶氣旋活動的影響顯著，Chan and Liu(2004)特別強調在推估未來熱帶氣旋強度的變化時，必須將聖嬰-南方震盪如何隨全球暖化變化的因素一同考慮進去。

稻米產量分別為減產 21%-增產 12%、減產 17%-增產 6%、減產 6%-增產 8%。Wang(2010)蒐集 1951 年至 2008 年中國安徽省颱風造成農作物災害損失數據，利用 T 檢定與趨勢變化方式分析結果影響安徽的颱風大多來自福建、浙江，主要時期是從七月到九月，而每年農作物的比例受災面積和農業經濟損失分別為 3%和 6%。

隨著全球暖化，預測發生沿海洪災、內陸乾旱對耕地的損害並危及全球糧食儲量。這些氣候劇烈的變化不僅嚴重威脅人類生活與生存，更影響糧食供需。氣候變遷對農業所帶來的衝擊包括氣候暖化、二氧化碳濃度增高、極端氣候頻率增加、水資源的變動等，對農業的生產力、穩定性及耕作制度等都將造成影響(蘇宗振，2009)

四、氣候變遷與熱帶氣旋相關文獻

本節主要目的為藉由回顧氣候變遷與熱帶氣旋相關文獻，探討二氧化碳排放量的增加，是否會影響熱帶氣旋的生成頻率及強度影響。根據前人大量研究顯示，熱帶西北太平洋是全球熱帶氣旋生成最為頻繁的地區，約占全球的三分之一(Henderson-Seller et al., 1998 ; Yumoto and Matsuura, 2001)。

根據聯合國跨國氣候變遷委員會第五次氣候變遷評估報告(AR5)中更明確指出人類活動所排放出的溫室氣體為全球暖化的主要原因，而二氧化碳為最主要之人為排放溫室氣體。同時也指出二氧化碳的累積排放量將決定 21 世紀後期全球平均地表暖化的程度。即使二氧化碳排放停止，氣候變遷的許多現象依然會持續好幾個世紀，這代表過去、現在及未來的二氧化碳排放對未來數個世紀的氣候變遷有不可抹滅的顯著影響。此外，氣候變遷會影響碳循環過程而加速大氣中的二氧化碳濃度的增加，可見二氧化碳對於全球暖化之影響甚大。前人探討全球暖化與熱帶氣旋關聯性曾有多篇傑出研究，主要可分為：生成頻率與強度兩方面，茲就以下逐一分析說明。

(一) 生成頻率

以下分別就生成、強度、路徑及伴隨降雨與登陸各方面，討論西北太平洋熱帶氣旋的年代/年代際變化與長期趨勢。(以下略)

熱帶氣旋 (Tropical Cyclone, TC) 的活動同時受到大氣熱力和動力條件規範。隨著全球暖化，海平面溫度逐漸上升，熱帶氣旋生成及活動的環境也在改變。Gray(1979)最早提出海平面溫度上升可能增加低層大氣的水氣和濕靜能，這些熱力條件的改變有利於熱帶氣旋的生成和發展。

Watson et al.(2001)認為溫室氣體的累積會導致海面溫度(Sea Surface Temperature ,SST)的上升，隨後增加熱帶氣旋的數量和最大強度。在大多數的氣候模式的研究中得出的結論是，當局部或是底層的海平面溫度上升，則熱帶氣旋活動會更加劇烈及頻率也會增高(Broccoli and Manabe, 1990；Haarsma et al., 1993；Krish-namurti et al., 1998)。而臺灣氣候變遷推估與資訊平臺建置(TCCIP)將強度較弱的熱帶風暴或甚至熱帶低壓也考慮進去，重新分析 1970 年到 2009 年期間西北太平洋的熱帶氣旋生成頻率，也發現熱帶氣旋總數仍無顯著的線性變化。而 Tu(2009)則利用貝葉斯統計(Bayesian analysis)發現在 2000 年前(1970 年到 1999 年)在臺灣附近形成的颱風每年約 3.3 個，而到了 2000 年後(2000 年到 2006 年)提高到每年 5.7 個颱風。

(二) 強度

在熱帶氣旋強度的研究論文上，Chan et al. 數篇論文 (Chan and Liu, 2004；Chan, 2006；Chan, 2008) 強調西北太平洋的熱帶氣旋強度有統計上顯著的年際變化。Emanuel(2005)研究指出西北太平洋及北大西洋的颱風強度在過去 30 年有明顯的增加趨勢，而這個增加趨勢恰好與西北太平洋及北大西洋熱帶海域的海表面平均溫度增加趨勢(過去 30 年來約增加攝氏 0.6 度)相當一致；Webster(2005)研究只顯示過去 30 年來全球颱風強度呈現與熱帶海洋表面溫度有一致的增加趨勢，特別是強度最強的第四級及第五級颱風個數，相對於較弱前三級颱風明顯增加。Elsner et al. (2008)則分析 1981 年到 2006 年來西北太平洋最強 (前 2.5%)熱帶氣旋的強度有顯著的上升趨勢。

縱上，受限於觀測的長度和品質，這些線性變化和人為全球暖化是否有關，眾

多學者之研究及觀點均尚無確切的定論。過去常把極端氣候視為全球暖化的結果，但國際學者卻對此二者的連結並未完全接受；而且也有部分學者認為過去因為颱風的尺度相對較小，大尺度氣候模型未必適用。不同的觀點則指出，因為缺乏直接測量，僅用衛星來估計颶風強度，有誤差和不確定性存在。

Knutson et al.(2010)認為還無法從過去的熱帶氣旋記錄中具體辨識出人為的氣候變遷的訊號。

針對全球氣候變遷與人類活動對於熱帶氣旋的頻率與強度影響，三位著名學者 Kevin Trenberth(2005)、Kerry Emanuel(2005)及 Peter Webster(2005)分別發表的三篇論文皆指出，颶風活動與人為影響的關係尚不清楚，但強度在過去 30 年來有增強的趨勢，並有可能是全球暖化的反應。

不過，近期 Emanuel(2013)結合大尺度模式和小尺度模式，證明了兩者確實有關，利用 1950 年到 2005 年每年的 600 個風暴歷史數據模擬，結果顯示肇因於溫室氣體的排放，熱帶氣旋發生的頻率將在 2100 年以前會上升 10%-40%。並藉著 IPCC 對於二氧化碳排放量將在 2100 年之前上升三倍的預測，將熱帶風暴的發展推測至 2100 年，以「能量消耗指數」(The Power Dissipation Index) 為衡量，說明一個熱帶風暴將耗盡的總動能。經過計算，熱帶風暴的強度將可能在 2100 年前提高 45%。而登陸的風暴強度更會提高 55%。

Trenberth(2013)認為 Emanuel(2013)的模擬技術對未來風暴的頻率和強度做出了可靠的預測，但風暴的規模將有多大，以及將持續多久，目前仍無法確知。這一部分決定於二氧化碳的增溫效應，而另一部份則決定於海洋水層的混合，同時認為 Emanuel(2013)研究若正確則南太平洋地區確實會經歷更頻繁的季風和聖嬰現象。另外，近年來部分研究利用較高分辨率之氣候模型，發現在二氧化碳增加一倍的預測下，熱帶氣旋的強度也會增加(Krishnamurti et al., 1998；

Knutson et al., 1998；Knutson and Tuleya, 1999)。Chen(2008)研究全球性碳封存的重要性同時指出，颱風與碳循環的關係將會高度的影響臺灣未來的颱風頻率與強度。綜上所述，大氣中二氧化碳含量越高，颱風強度越強，頻率越高。總

結，根據上述文獻可推斷熱帶氣旋與二氧化碳排放量的關係將會影響未來颱風頻率與強度。

(本院自卷三 P229-263)

參、研究方法

一、資料來源與蒐集

(一)臺灣部分

本研究所蒐集的災害資料主要為 1999 年到 2013 年期間所有侵臺颱風之氣象資訊，及臺灣地區因颱風災害導致之稻米損失金額與稻米單位面積數量等資料。要估計颱風對稻米損失的影響，需蒐集整理臺灣各地區的稻米損失價值與累積總雨量值(毫米)、最大瞬間風速(公尺/秒)等颱風氣象資料，由於目前的氣象觀測站分佈於不同的 12 個縣市，故以 12 個觀測站所獲得的氣象資料為主。而本研究主要研究對象為臺灣的 15 個縣市為研究對象，以致有 3 個地區(苗栗、彰化及雲林)將缺乏歷年颱風氣象資訊，為解決此問題，本研究將假設上述的 3 個地區之氣象資料與各自鄰近地區相同，亦即苗栗地區與新竹地區相同；彰化地區與臺中地區相同；雲林地區與嘉義地區相同。

由於 2010 年歷經縣市合併，將臺灣本島地區依各行政區劃分為 15 個地區。另外，除了了解全臺灣颱風累積總雨量及瞬間最大風速對稻米損失價值之影響外，本研究為分析各區之影響，根據中央氣象局觀測站所在縣市劃分之地區，將各縣市分為北部地區(臺(新)北縣市、桃園縣、新竹縣市、苗栗縣)、中部地區(臺中縣市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣市)、南部地區(臺南縣市、高雄縣市、屏東縣)以及東部地區(宜蘭縣、臺東縣、花蓮縣)做探討。

(二)日本部分

本研究蒐集日本政府的總和窗口 E-Stat (<http://www.e-stat.go.jp/>) 提供日本各地方稻米因颱風災害而導致損失價值之統計資料(1987~2004)、美國聯合颱風警報中心(JTWC)提供的熱帶氣旋最佳路徑(Best Track)資料-西北太平洋熱帶海域之颱風特性及個數(1973-2012)及國際能源總署(International Energy Agency, IEA)提供的全球二氧化碳

無

碳部門法)排放量(百萬立方公噸)等資料，以了解西北太平洋之熱帶氣旋生成頻率。接著，本研究利用國際能源總署(IEA)所提供全球二氧化碳排放量(百萬公噸)，結合日本氣象局提供之全球平均海平面長期水溫變化傾向，以了解全球二氧化碳排放量與海平面溫度之相關性。

在評斷熱帶氣旋強度方面，採用的最佳方法是分析風暴中心附近的風力資料，故本研究將西北太平洋 1977 年到 2012 年間生成個別熱帶氣旋之最大瞬間風速值平均後，得到每年熱帶氣旋平均最大瞬間風速資料。

二、實證模型建立

(一)臺灣部分

本研究資料利用 Panel Data 形式，去分析颱風氣象特性與臺灣稻米損失價值之相關性。颱風因其所挾帶的強風豪雨與農業災害有密切的關聯性，在實證模型的建立上估計因氣候變遷而造成的稻米災害損失函數中，其被解釋變數為稻米因颱風災害之總損失價值，解釋變數則為氣候條件特性。在雨量方面，本研究將以 1999 年到 2013 年每年颱風在各地區所帶來的累積降雨量(毫米)資料作為解釋變數，而在風力方面，依據中央氣象局之颱風原始次級資料可分為：瞬間最大風速(公尺/秒)和平均最大風速(公尺/秒)。根據朱蘭芬(2007)針對颱風對臺灣稻米損失函數研究中，發現稻米的損失與颱風所帶來的瞬間最大風速有較明顯關係，故本研究將瞬間最大風速作為氣候條件特性的第二個解釋變數。因此本研究將臺灣稻米的損失函數以下面函數表示：

$$\text{Value}_{it} = f(\text{Rain}_{it}, \text{Wind}_{it}) \quad (1)$$

表 2 臺灣氣候條件與稻米災損價值變數名稱與說明

變數名稱	變數意義	變數說明
$Value_{it}$	第 i 縣市第 t 期因颱風所造成的臺灣稻米損失價值(千元)	臺灣各縣市每年颱風造成稻米災害損失價值
$Rain_{it}$	第 i 縣市第 t 期颱風累積降雨量(毫米)	臺灣各縣市每年造成稻米災損颱風之累積降雨量
$Wind_{it}$	第 i 縣市第 t 期颱風瞬間最大風速(公尺/秒)	臺灣各縣市每年造成稻米災損颱風之瞬間最大風速

資料來源：本研究整理。

本研究將等式兩邊之變數資料取自然對數(Natural log)、其估計之係數值即為彈性值，意謂當累積降雨量與瞬間最大風速變動百分之一時，其相對應之稻米損失

本研究將等式兩邊之變數資料取自然對數(Natural log)，其估計之係數值即為彈性值，意謂當累積降雨量與瞬間最大風速變動百分之一時，其相對應之稻米損失價值的變動百分比。

(二)日本部分

在實證模型建立上，由於日本官方單位僅提供各地方稻米因颱風造成災害損失價值之資料，並未提供各地方氣象觀測站之個別颱風累積降雨量(毫米)及最大瞬間風速(公尺/秒)，故因為資料不完整而無法採用與臺灣地區之相同計量模型-Panel Data Model 進行相關研究。

本研究則利用最小平方方法(Ordinary Least Squares)形式，去分析日本個別颱風氣象特性與日本稻米損失價值之影響及相關性。而同樣採用與臺灣地區之相同自變數與應變數，分別為日本稻米損失價值及累積降雨量與最大瞬間風速。因此本研究將日本稻米的損失函數以下面函數表示：

$$JValue_t = f(JRain_{it}, JWind_{it}) \quad (2)$$

表 3 日本龍捲條件與稻米災損價值變數名稱與說明

變數名稱	變數意義	變數說明
$JValue_t$	第 t 年日本稻米損失價值(100 万円)	日本各地區每年颱風造成稻米災害損失價值
$JRain_t$	第 t 年日本颱風累積降雨量(毫米)	日本各地區每年造成稻米災損颱風之累積降雨量
$JWind_t$	第 t 年日本颱風瞬間最大風速(公尺/秒)	日本各地區每年造成稻米災損颱風之瞬間最大風速

資料來源：本研究整理。

本研究將等式兩邊之變數資料取自然對數(Natural log)，其估計之係數值即為彈性值，意味當累積降雨量與瞬間最大風速變動百分之一時，其相對應之稻米損失價值的變動百分比。

(三)西北熱帶氣旋部分

(1)生成頻率

由於熱帶氣旋生成頻率於為非負數間斷數值，且數值大多較小(Small Value)，分析非負數間斷數值資料的實証方法主要以計數資料模型為主，例如波松分配模型(Poisson Distribution)與負二項分配迴歸模型(Negative Binomial Distribution)。負二項分配迴歸模型尤其廣為被接納，因為其解除波松分配中平均值等於變異數的限制條件。本研究應用計數資料模式中負二項迴歸型式，去分析全球二氧化碳排放量與西北太平洋熱帶氣旋生成頻率之相關性。

在實證模型的建立上，以 1973 年到 2012 年西北太平洋熱帶海域所形成的熱帶氣旋個數為解釋變數，其被解釋變數為國際能源總署(International Energy Agency)提供的全球二氧化碳排放量等。

$$typhoon_t = f(CO_2_t) \quad (3)$$

表 4 熱帶氣旋頻率與全球二氧化碳排放量變數名稱與說明

變數名稱	變數意義	變數說明
$typhoon_t$	第 t 年熱帶氣旋發生次數	各年西北太平洋熱帶氣旋生成次數
CO_{2t}	第 t 年全球二氧化碳排放量(百萬立方公噸)	各年全球二氧化碳排放量

資料來源：本研究整理。

(2)強度

Trenberth(2005)針對海平面溫度和颱風活動的關係進行分析，指出高的海平面溫度的確會使得大氣環境的水氣含量增加，進一步使得對流可用位能增加。可知，海平面溫度對於熱帶氣旋的影響。

本研究採用全球二氧化碳排放量做為全球暖化與海平面溫度長期傾向關係之自變數；判斷熱帶氣旋強度之方式眾多如累積降雨量、強降雨和瞬間風速等，而雨量變化不若瞬間風速來得有明顯差異，故本研究利用熱帶氣旋之最大瞬間風速作為海平面溫度傾向與熱帶氣旋強度關係之應變數，並利用兩階段最小平方方法(Ordinary Least Squares, OLS)形式，去分析全球二氧化碳排放量與西北太平洋熱帶氣旋強度三者之間影響及相關性：

$$SST_t = f(CO_{2t}) \quad (4)$$

$$Wind_t = f(SST_t) \quad (5)$$

表 5 全球暖化與熱帶氣旋最大瞬間風速變數名稱與說明

變數名稱	變數意義	變數說明
SST_t	第 t 年全球平均海平面溫度長期傾向 ($^{\circ}C$)	各年度全球海平面溫度異常值
$Wind_t$	第 t 年西北太平洋熱帶氣旋之最大瞬間風速(公尺/秒)	各年度西北太平洋生成之熱帶氣旋之瞬間最大風速
CO_{2t}	第 t 年全球二氧化碳排放量 (百萬立方公噸)	各年全球二氧化碳排放量

資料來源：本研究整理。

一、敘述統計分析

(一)臺灣部分

根據中央氣象局統計 1999 年到 2013 年之間總共發生 93 次侵臺颱風，其中 50 次的侵臺颱風對於臺灣稻米損失價值造成影響，由歷年資料發現十五年間造成稻米損失之侵臺颱風佔 53.76%，又如圖 2 可知 2007 年共計發生 6 次侵臺颱風，其中 5 次造成稻米價值損失，占比 83.33%為最嚴重之年份。

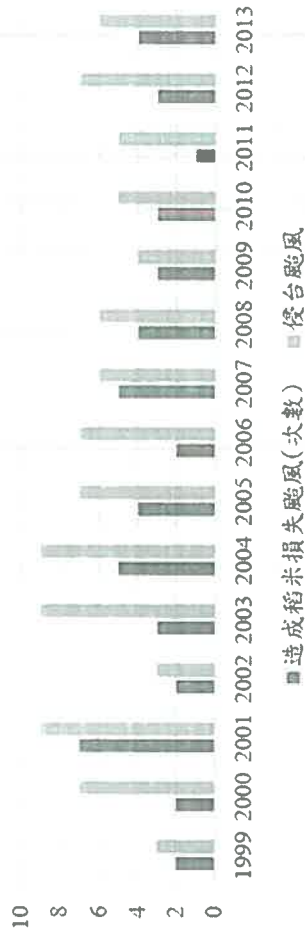


圖 2 臺灣各年度侵臺颱風造成稻米損失次數

資料來源：本研究整理。

另外，1999 年到 2013 年造成稻米災害損失的侵臺颱風中，對臺灣稻米的損失金額價值總計近 92 億多元，平均一年損失約為 6 億元。由稻米損失的逐月分佈發現十五年間七、八月份之造成稻米災損颱風次數雖居首位，分別各為 12 次與 13 次，但災情卻以九月最為嚴重，高達新臺幣 42 億元，可能因素為由於九月份發生強烈颱風的頻率較高，故造成的損失金額也較高；十月份之損失則約 22 億，居次。九月到十月兩個月，稻米之損失金額價值高達 64 億元，佔颱風造成稻米金額的 70.05%，如表 6。

表 6 臺灣各月份侵襲颱風所造成的稻米損失金額及百分比與次數

月份	稻米損失價值(千元)	百分比(%)	造成稻米損失颱風 (次數)
5月	18,001.15	0.196%	2
6月	455,176.72	4.949%	4
7月	1,196,314.2	13.007%	12
8月	1,062,586.2	11.553%	13
9月	4,220,383.34	45.885%	10
10月	2,222,645	24.165%	6
11月	20,109	0.219%	2
12月	2,489	0.027%	1
合計	9,197,704.61	100%	50

資料來源：本研究整理。

如前述，臺灣目前在苗栗、彰化、雲林地區缺乏氣象觀測站，故缺乏此 3 地區 1999 年到 2013 年的地區降雨量(毫米)與平均最大瞬間風速(公尺/秒)。由表 7 顯示，1999 年到 2013 年 15 年間花蓮及屏東兩地區造成稻米災損之颱風累積降雨量為最大及次之；而在平均最大瞬間風速上，臺南地區為最大，花蓮地區次之。

表 7 臺灣各地區 1999 年到 2013 年造成稻米損失之颱風累積降雨量及風速

地區	累積降雨量 (毫米)	平均最大瞬間風 速(公尺/秒)	稻米損失價值 (單位：千元)	百分比(%)
----	---------------	--------------------	-------------------	--------

臺北	5825.6	9.01	25,892.73	0.28%
桃園	6781.3	8.92	218,162.16	2.37%
新竹	6463.8	7.77	146,753.56	1.60%
苗栗			325,208.97	3.54%
臺中	7208.9	5.77	615,123.64	6.69%
彰化			2,962,813.69	32.21%
南投	8540.7	7.30	118,154.54	1.28%
雲林			1,101,550.63	11.98%
嘉義	8187.6	7.66	1,672,618.29	18.19%
臺南	6647.9	11.66	932342.57	10.14%
高雄	7725.7	8.85	116,279.1	1.26%
屏東	11374.9	10.14	140,197.11	1.52%
臺東	7514.8	7.34	260,793.17	2.84%
花蓮	10329.1	11.33	431,080.28	4.69%
宜蘭	6659.7	11.19	130,734.18	1.42%
合計			9,197,704.62	100%

資料來源：本研究整理。

在臺灣本島 15 個地區中，因颱風而導致稻米金額損失，最嚴重的是發生在彰化地區，共計損失新臺幣 29 億 6 千多萬元，佔總損失金額 32.2%，其次為嘉義地區約 16 億 7 千多萬元，雲林與臺南地區分別為 11 億元及 9 億 3 千多萬元，此四個地區之災害合計高達 66 億元，約計總損失金額的 72.5%，如表 7。若依地區劃分，則中部地區之稻米損失金額 70%，中部約 13%，其他地區所占比例甚少。就分區而言，在侵襲颱風強度類別中，根據臺灣中央氣象局的颱風強度判定分級標準如前表 1，根據其分級標準將 1999 年到 2013 年之間侵襲颱風劃分後，觀察其對臺灣各地區所造成稻米災害損失價值之影響，以強度颱風發生造成之損失金額高達 58 億元，又以 2008 年損失金額達 25 億為最多，如表 8

表 8 臺灣各年份因颱風造成稻米損失金額與強度類別之關係 單位：千元

年份	輕度颱風	中度颱風	強度颱風	合計
1999	-	50,930	-	50,930
2000	153,682	333,781	-	487,463
2001	16,201	386,635	-	402,836
2002	12,783	0	-	12,783
2003	1,648	24,730	-	26,378
2004	1,621	406,220.74	--	407,841.74
2005	-	552	1,235,687.49	1,236,239.49
2006	16,621.56	7,224.15	-	23,845.71
2007	113.40	18,589	1,834,163.56	1,852,865.96
2008	-	51,184.49	2,534,628.14	2,585,812.63
2009	5,686.93	721,606.48	-	727,293.41
2010	860	525,720.21	-	526,580.21
2011	-	--	4,042.77	4,042.77
2012	397,238.79	31,494	-	428,732.79
2013	248,068	-	175,991.93	424,059.93
合計	854,523.67	2,558,667.06	5,784,513.88	9,197,704.61

資料來源：本研究整理。

另外，若將臺灣如表 7 所劃分成四個地區，可發現全臺灣稻米受颱風災害最為嚴重之地區為中部地區，佔全臺灣的 70.35%；其次為南部地區，佔全臺灣的 12.93%；影響最為輕微之地區為北部地區，僅佔全臺灣的 7.78%，如表 9 所示。

表 9 臺灣分區因颱風所造成稻米損失價值及其百分比

區域	稻米損失價值(單位：千元)	百分比(%)
北部地區	716,017.42	7.78%
中部地區	6,470,260.79	70.35%
南部地區	1,188,818.78	12.93%
東部地區	822,607.63	8.94%
合計	9,197,704.62	100%

資料來源：本研究整理。

最後由表 8 可發現在 1999 年到 2013 年間，以 2008 年造成的損失價值達 25.8 億元為最高，其次則為 2007 年的 18.5 億元，可能原因為此兩年度的強度颱風較多，如表 8，故造成的損失金額也較高。

(二)日本部分

根據日本氣象廳(<http://www.jma.go.jp>)統計資料，自 1951 年到 2013 年日本發生侵日颱風總計 178 次，平均一年發生 2.8 次，以八月共計發生 62 次為最多，九月發生 59 次，居次，如圖 3。



圖 3 1951 至 2013 年各月份侵日颱風次數

資料來源：日本氣象廳(2013)

1987 年到 2004 年之間，日本各區域主要颱風造成稻米損失地區為九州地區，總損失金額為 359,730 百萬日元，占總比例 37.04%；而中國及四國則總損失金額為 218,264 百萬日元，占總比例 22.74%，居次。其主要原因為地理位置因素，九州地區緯度較低之位置，冬季溫暖，夏季多雨，較易受到颱風及梅雨影響，且每年 8 月至 10 月期間容易受到西北太平洋的熱帶氣旋侵襲。

至於稻米因颱風造成災害損失面積，自 1987 年到 2004 年計 18 年間共計損失面

積約 322.5 萬公頃，一年平均日本稻米因颱風損失 17.9 萬公頃，其中以九州地區為損失面積最大，損失約 111.3 萬公頃，占總比例 34.54%；中國及四國地區損失 78 萬公頃，佔 24.21%，居次，如表 10。

表 10 日本各地方稻米颱風災損失金額與面積及比例

區域	稻米損失金額 (100 万円)	百分比(%)	稻米受害面積 (公頃)	百分比(%)
九州	359,730	37.04%	1,113,991	34.54%
中國四國	218,264	22.47%	780,783	24.21%
北海道	26,623	2.74%	151,780	4.71%
北陸	85,257	8.78%	255,340	7.92%
沖繩	624	0.06%	2,414	0.07%
東北	104,192	10.73%	274,544	8.51%
中部	39,151	4.03%	162,379	5.03%
近畿	74,322	7.65%	267,036	8.28%
關東	63,112	6.50%	216,871	6.72%
合計	971,275	100%	3,225,138	100%

資料來源：日本農林水產廳。

(三)西北太平洋熱帶氣旋

(1)生成頻率

近年來因為工業化需求，全球二氧化碳排放量有不斷上升趨勢，由圖 4 可知全球二氧化碳排放量從 1973 年的 15,633 百萬公噸，上升至 2012 年的 31,734 百萬公噸，約計成長 102.99%。而西北太平洋熱帶氣旋生成頻率則無明顯的增加或是減少趨勢，也無一定規律的增減幅度，自 1973 年到 2012 年間熱帶氣旋共計生成 1,172 個，平均在西北太平洋上每年生成 29.3 個熱帶氣旋。

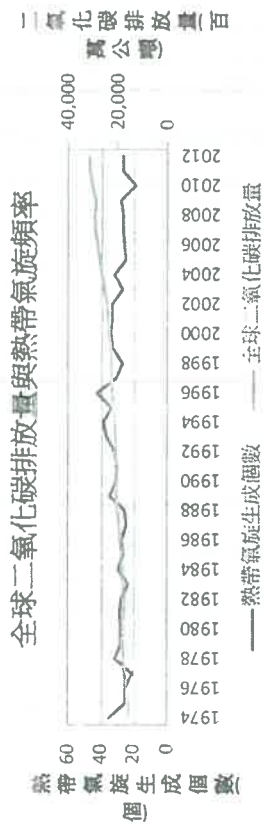


圖 4 全球二氧化碳排放量與熱帶氣旋頻率
資料來源：JWTC、IEA、本研究整理。
單位：個，百萬公噸

根據美國聯合颱風警報中心(JWTC)針對西北太平洋熱帶氣旋生成之統計資料，僅記載自 1977 年到 2012 年西北太平洋熱帶強度以熱帶風暴(TS)及颱風(TY)為最多，其中熱帶風暴(TS)平均每年生成個數為 9.3 個，而颱風(TY)平均每年生成個數為 12.5 個，如下圖 5。

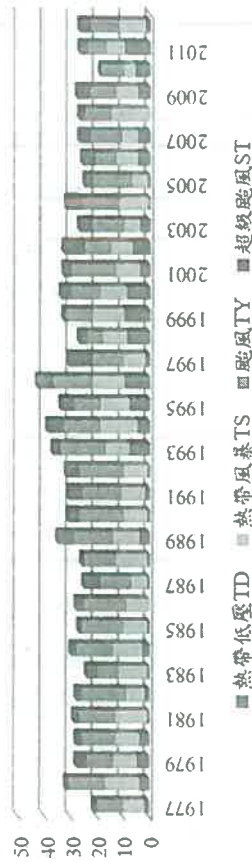


圖 5 西北太平洋熱帶氣旋強度個數
資料來源：JWTC (2013)；本研究整理。

(2)強度

根據日本氣象廳整理全球平均海面溫度長期變化傾向(異常值)資料，可發現全球海面溫度逐漸升高趨勢，如圖 7，該單位整理之資料以 1981 年到 2010 年全球海溫平均值 18.21°C 為標準值。其中以 1998 年上升 0.14°C 為正向異常最大，以 1978 年負向異常最大。日本氣象廳進一步歸納每一百年平均溫度上升 0.51，並發現自 21 世紀起，全球平均海面溫度的增長推移逐漸趨緩。

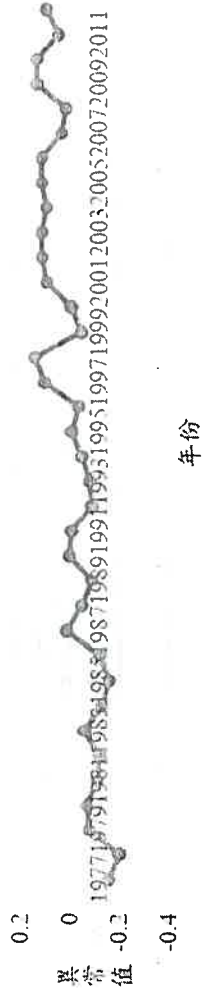


圖 6 全球平均海面溫度異常長期傾向
資料來源：日本氣象廳(2013)。

強度資料部分，美國聯合颱風警報中心(JTWC)提供之西北太平洋生成熱帶氣旋之風速以「節」(kt)為單位，其中以該單位之標準，熱帶氣旋最大瞬間風速落在 34 節以下為熱帶低壓(TD)；34 節到 63 節為熱帶風暴(TS)；64 節到 135 節則為颱風(TY)；135 節以上稱為超級颱風(ST)。但是各國氣象單位多以「公尺/秒」為計算單位，經各單位換算後(1kt=0.5144m/s)其強度分級如前述表 1。

根據資料顯示，平均每年熱帶氣旋之最大瞬間風速多落在 50 節到 80 節之間，如圖 7 顯示。

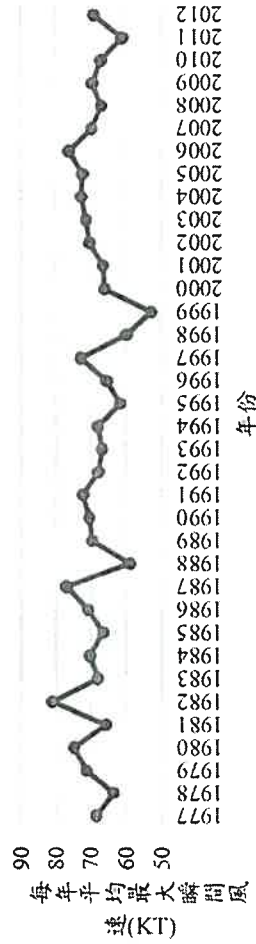


圖 7 西北太平洋每年熱帶氣旋平均最大瞬間風速
資料來源：JTWC(2013)。

自 1977 年到 2012 年間西北太平洋共計生成 1,172 個熱帶氣旋中，颱風(TY)共計生成 450 個，占比率最高為 38.39%；其次為熱帶風暴(TS)發生次數總共為 336 個，占比為 28.67%；而超級颱風在期間共生成 134 個，占熱帶氣旋總比例 11.43%，為佔比最少。各類強度別屬性颱風發生次數敘述統計表，整理如下表 11。

表 11 西北太平洋 1977 年到 2012 年熱帶氣旋各類屬性颱風發生次數表 單位：個

強度別	總和	平均數	標準差	變異數	最大值	最小值
熱帶低壓(TD)	144	4	3.13	9.77	10	0
熱帶風暴(TS)	336	9.33	2.40	5.77	15	4
颱風(TY)	450	12.5	3.10	9.63	17	6
超級颱風(SI)	134	3.72	2.08	4.32	9	0

資料來源：JTWC；本研究整理。

二、實證結果分析

(一)臺灣部分

本研究為了瞭解全臺灣稻米損失價值與颱風瞬間最大風速及累積降雨量之相關性，利用經由 Hausman 檢定採用 Random effect Model，實證結果如下表 12。

表 12 臺灣颱風氣候條件對稻米損害價值之實證結果

變數名稱	參數估計值
$\log Rain_{it}$	0.355627*** (0.156357)
$\log Wind_{it}$	1.643912*** (0.287416)
Intercept	1.430710 (0.925384)
Adj R^2	0.447

資料來源：本研究整理。

1. 各估計係數下括弧內之數值為標準誤

2. **顯著水準 5%；***顯著水準 1%

本研究實證結果分析如表所示，經由 Hausman 檢定後，在 $\alpha=0.05$ 的顯著水準下，其檢定結果 Hausman Test 之 χ^2 為 5.866，(P-value=0.05)。

實證結果發現如表 21，在隨機效果模型中，瞬間最大風速(公尺/秒)及累積降雨量(毫米)與全臺灣稻米損失價值均呈現正向顯著關係，當累積降雨量增加 1%時，全臺灣的稻米損失價值即增加 0.356%；而瞬間最大風速增加 1%時，全臺灣的稻米損失價值則會增加 1.644%。

由於颱風能造成災害主要原因是強風和暴雨。強風可以吹斷或吹倒作物、吹落穀粒

或果實；暴雨則會淹沒農田，流失作物，或因排水不良而倒伏及發生病蟲害。兩者均會造成農作物價值損失，而經由實證結果，可知瞬間最大風速對全臺灣稻米損失價值影響幅度明顯大過於累積降雨量，如表 13 所示。

表 13 臺灣各區颶風氣候條件對稻米損害價值之實證結果

變數名稱	參數估計值		
	北部地區 (Random effect)	中部地區 (Random effect)	南部地區 (Random effect)
$\log Rain_{it}$	0.062391 (0.383114)	0.678253** (0.270513)	0.199251 (0.208650)
$\log Wind_{it}$	0.987298 (0.603681)	1.521225*** (0.512411)	1.936418*** (0.442936)
Intercept	5.088205** (2.021692)	0.527942 (1.648476)	0.809610 (1.452275)
Hausman 檢定	5.249	18.497	1.734
Adj R^2	0.057424	0.290206	0.437660

資料來源：本研究整理。

1. 各估計係數下括弧內之數值為標準誤

2. **顯著水準 5%；***顯著水準 1%

臺灣各分區的估計結果如表 13，北部地區累積總降雨量與瞬間最大風速呈正向關係，當累積降雨量增加 1%，稻米損失價值即增加 0.062%；而瞬間最大風速增加 1%時，稻米損失價值即增加 0.987%，以瞬間最大風速影響最大。根據張秀珠 (2011) 由於北部地區地理位置關係，其結果雨量及風速均不顯著以及影響幅度不大。

中部地區累積總降雨量與瞬間最大風速呈正向關係，當累積降雨量增加 1%，稻米損失價值即增加 0.678%；而瞬間最大風速增加 1%時，稻米損失價值即增加 1.521%，以瞬間最大風速影響最大。而累積降雨量及瞬間最大風速均呈顯著關係。南部地區累積總降雨量與瞬間最大風速呈正向關係，當累積降雨量增加 1%，稻米損失價值即增加 0.199%；而瞬間最大風速增加 1%時，稻米損失價值即增加 1.936%，以瞬間最大風速影響最大。而瞬間最大風速呈顯著關係；累積降雨量關係則不顯著。

東部地區累積總降雨量與瞬間最大風速呈正向關係；當累積降雨量增加 1%，稻米損失價值即增加 0.214%；而瞬間最大風速增加 1%時，稻米損失價值即增加 1.557%，以瞬間最大風速影響最大。而瞬間最大風速呈顯著關係；累積降雨量關係則不顯著。

在四個分區中，稻米損失價值以中部受累積降雨量影響幅度較大，並與瞬間最大風速成正向顯著關係，表示在中部地區累積降雨量與瞬間最大風速對於臺灣稻米損失價值具有相當的影響性；而以南部地區受瞬間最大風速影響幅度較大。

(二)日本部分

本研究利用最小平方方法(Ordinary Least Squares, OLS)了解日本稻米損失價值與 10 分鐘內颱風瞬間最大風速及累積降雨量之相關性，實證結果如下表 14。

表 14 日本各地方颱風氣候條件對稻米損害價值之實證結果

變數名稱	參數估計值
$\log \text{wind}_t$	10.26696** (4.239239)
$\log \text{rain}_t$	0.006299** (0.002775)
Intercept	-32.93522 (15.83492)
Adj R^2	0.180526

資料來源：本研究整理。

1.各估計係數下括弧內之數值為標準誤

2.**顯著水準 5%；***顯著水準 1%

實證結果發現，自 1987 年到 2004 年侵日颱風，當最大瞬間風速增加 1%時，對於稻米損失價值會增加 10.267%；當累積降雨量增加 1%時，則對於稻米損失價值會增加 0.006%。

在影響程度上，明顯發現最大瞬間風速對於稻米價值損失影響幅度遠大於累積降雨量之影響。其可能因素為日本自 1970 年代以來，相較於其他國家森林面積的持續萎縮，根據日本林業白皮書統計 2008 年日本國土面積 3,779 公頃，而森林面積 2,510 公頃，佔日本國土面積 67.3%。而森林與降雨量之間的關聯性是相當大的，

日本的森林覆蓋率一直保持在三分之二上下，故對於颱風的降雨量已有相當的防護措施，故颱風累積降雨量對於日本稻米損失價值的影響較小。

(三)西北太平洋熱帶氣旋部分

(1)生成頻率

本研究為了解西北太平洋熱帶氣旋生成頻率與全球二氧化碳排放量之相關性，利用負二項分配(Negative Binomial Distribution)實證分析結果如下表 24。

由 1973 年到 2012 年的資料中，可知二氧化碳變數(CO_2)的係數估計值為顯著正相關，表示當全球二氧化碳排放量增加時，西北太平洋及北大西洋發生颱風的頻率便會增加，而在一般線性回歸模型中，沒有所謂的最大值概念，將變數之平方項加入回歸模型後，可以探討該變數是否對因變數的影響呈現 U 型或是倒 U 行關係。而本研究欲探討當二氧化碳排放增加的程度下，原先呈現颱風次數增加(或減少)的趨勢，但超越一定的排放量後，其將會變成減少(或上升)的趨勢。而研究結果顯示全球二氧化碳排放量增加與西北太平洋熱帶氣旋次數呈現倒 U 型。

表 15 熱帶氣旋生成頻率與全球二氧化碳排放量之實證結果

變數名稱	參數估計值	透際效果
CO_{2t}	0.000255*** (6.77E ^{-0.5})	0.007399
CO_{2t}^2	-5.64E ^{-0.9} *** (1.43E ^{-0.9})	-
Intercept	0.590190 (0.759286)	-
Adj R ²	0.366363	

資料來源：本研究整理。

1.各估計係數下括弧內之數值為標準誤

2.**顯著水準 5%；***顯著水準 1%

由於負二項分配(Negative Binomial Distribution)所估計出係數無法其實際次數，必須進一步計算模型估計結果的邊際效果(marginal effect or partial effect)，以便估算出全球二氧化碳的排放量與西北太平洋熱帶氣旋生成次數關係。結果顯示，當全球二氧化碳排

放量增加一單位，則西北太平洋熱帶氣旋則會增加 0.007399 次的生成。

(2)強度

本研究為了解全球暖化與西北太平洋熱帶氣旋強度之相關性，首先利用最小平方方法 (Ordinary Least Squares, OLS) 進行二氧化碳排放量與全球平均海面溫度之分析，實證結果如表 16，由 1977 年到 2012 年的資料中，可知二氧化碳變數(CO₂)的係數估計值為顯著正相關，表示當全球二氧化碳排放量增加時，對於全球平均海面溫度上升是有相當的關聯性。

表 16 全球平均海面長期變化傾向與二氧化碳排放量之實證結果

變數名稱	參數估計值
CO _{2t}	1.72E-0.5*** (2.37E ^{-0.6})
Intercept	-0.402178*** (0.055014)
Adj R ²	0.606678

資料來源：本研究整理。

1.各估計係數下括弧內之數值為標準誤

2.**顯著水準 5%；***顯著水準 1%

接著進一步進行全球平均海面長期變化與西北太平洋熱帶氣旋強度之實證分析，分析結果如下表 17，可發現全球平均海面長期變化之變數(SSST)之變數係數估計值為顯著正相關，並且時間趨勢變數(trend)同樣為顯著關係，表示西北太平洋熱帶氣旋強度與全球平均海面長期變化是有相當的關聯性。此結果與 Webster(2005)發現過去 30 年間，因為熱帶海洋變得更暖使得颱風有越來越增強的趨勢，並認為這樣的趨勢與二氧化碳量加倍的模擬結果相同之研究，結果略為一致。

表 17 全球平均海平面長期變化與西北太平洋熱帶氣旋強度之實證結果

變數名稱	參數估計值
SST_t	33.70727** (16.06536)
<i>trend</i>	-0.325097*** (0.148171)
Intercept	74.57002** (2.870496)
Adj R^2	0.132955

資料來源：本研究整理。

1. 各估計係數下括弧內之數值為標準誤
2. **顯著水準 5%；***顯著水準 1%

依據上述對於全球二氧化碳排放量與西北熱帶氣旋生成頻率與強度實證結果，可求得二氧化碳的排放所導致熱帶氣旋的改變，因此本研究將計算熱帶氣旋受全球二氧化碳排放量變異程度影響下次數及強度增幅程度，推估步驟如下：

根據 IPCC(2007)報告指出，自 2000 年到 2030 年間，源自於能源利用的全球二氧化碳排放量推估將增加 40%到 110%。

由於上述實證結果僅知道全球二氧化碳排放量與西北熱帶氣旋的頻率與強度關係，若要進一步估算二氧化碳排放量的增加影響，必須先計算其彈性值。

本研究先行推估生成頻率的影響：

由敘述統計資料知道，1973 年到 2012 年間全球二氧化碳每年平均排放 22,099.33 百萬公噸，而西北太平洋熱帶氣旋每年平均生成 29.3 個，故可計算其彈性值：

$$\frac{CO_2}{Frequency} \times \frac{\partial Frequency}{\partial CO_2} = 0.192$$

全球二氧化碳增加 1%時，西北太平洋熱帶氣旋的生成頻率會增加 0.192%，若根據步驟(3)所得到的結果乘以未來二氧化碳排放量的變異程度，如表 18，

表 18 二氧化碳未來變異程度與熱帶氣旋頻率關係

變異程度(%)	生成頻率變異程度(%)
1	0.192
40	7.6
110	21.157

資料來源：本研究整理

依據表 27，可計算當二氧化碳未來變異幅度與熱帶氣旋生成次數之關係， $29.3 * (1 + 7.6\%) = 31.527$ (次)及 $29.3 * (1 + 21.157\%) = 35.499$ (次)。當未來二氧化碳排放增加 40% 到 110% 時，每年西北太平洋熱帶氣旋生成頻率會增加至 31.527 次到 35.499 次。

與前述步驟相同推估強度的影響，1977 到 2012 年間每年全球二氧化碳平均排放量為 22,791.89 百萬公噸，而熱帶氣旋每年平均最大瞬間風速為 68.51 節，同樣先行計算其彈性值如下：

$$\frac{CO_2}{Wind} \times \frac{\partial Wind}{\partial CO_2} = 0.327$$

全球二氧化碳排放量增加 1% 時，熱帶氣旋最大瞬間風速會增加 0.327%，若根據步驟(3)所得到的結果乘以未來二氧化碳排放量的變異程度，如表 19，

表 19 二氧化碳未來變異程度與熱帶氣旋強度關係

變異程度(%)	最大瞬間風速變異程度(%)
1	0.327
40	13.081
110	35.973

資料來源：本研究整理

依據表 28，可計算當二氧化碳未來變異幅度與熱帶氣旋強度之關係， $68.51 * (1 + 13.081\%) = 77.472$ (節)及 $68.51 * (1 + 35.973\%) = 93.155$ (節)。當未來二氧化碳排放增加 40% 到 110% 時，每年西北太平洋熱帶氣旋最大瞬間風速會增加至 77.472 節

伍、結論與未來研究方向

一、結論與建議

近年來因全球氣候變遷，熱帶地區正緩慢地向外擴張，使得越來越多的國家成為熱帶國家，部分物種將面臨絕種危機。而熱帶國家，尤其是東南亞，為遭受氣候變化影響之前線，全球 70% 重大天災皆發生亞太地區，更凸顯救災、預警及因應氣候變化之重要性。

稻米為民生最基本之需求，並具有涵養地下水源與調節氣溫的功能，因此稻米產業的地位勢凌駕其他產業，與人們的生活關係最為密切。依據臺灣 2013 年糧食供應的統計，白米消費量每人每年 45 公斤，在生產量方面 2013 年稻米的產值 36,983,554 千元，生產指數 107.05%，收穫量及面積分別為 1,589,564 公噸與 270,165 公頃。日本方面，依據統計資料顯示，日本國人稻米消費量每人每年約 61 公斤，而 2013 年全國稻米產量為 8,607,000 公噸，種植面積約 1,599,000 公頃。

由此可知，稻米是臺灣及日本的主要糧食來源，也是農業生產中最主要的農作物。就稻米損失函數而言，颱風造成災害的主要因素為其挾帶的強風豪雨，因此本研究將臺灣分成 15 個地區，各地區有當年度造成稻米損失之颱風的累積降雨量及平均最大瞬間風速，與其造成損失的價值，並利用追蹤資料 (Panel Data Model) 計量方式估計。由第四章的實證結果可知，在臺灣各區颱風造成的累積降雨量及最大瞬間風速均與稻米損失呈現正向相關；颱風所帶來的最大瞬間風速在臺灣除了北部地區以外均有顯著的影響，而雨量方面，因為近年來颱風侵臺路徑以西行為主，北行路徑則有下降趨勢，以致於颱風所帶來的雨量主要影響中部地區，東部地區為其次，此結果除了與颱風路徑相關外，另一可能因素為臺灣稻米的主要產區為雲嘉及花東地區，故該分區造成損失影響較為明顯。而日本地區因為資料限制，本研究僅根據時間趨勢觀察，日本颱風形成之豪雨及風速對稻米災害損失的影響，利用最小平方法 (Ordinary Least Squares) 方式估計，同樣由實證結果發現在日本九州地區因颱風造成之稻米損失為最大，而瞬間最大風速的影響遠大幅超過累積降雨量對稻米損失的影響。

臺灣及日本處東亞大陸及西太平洋交界，每年均會受颱風侵襲，尤其在颱風季節

時。近年來溫室效應和全球暖化的氣候變遷議題也是氣候學界關注的焦點之一，故本研究亦就各種的氣候異常與西北熱帶氣旋生成頻率與強度的關係作一研究。結果發現，全球二氧化碳排放量與西北太平洋熱帶氣旋生成頻率呈現顯著正相關，且經由計數資料 (Count Data Model) 方式估計當全球二氧化碳排放增加一單位，則會使熱帶氣旋增加 0.007399 次的生成；至於強度方面，則先探討二氧化碳排放量與海平面溫度之關聯性，再行探討海平面溫度與熱帶氣旋強度之關係，發現三者間呈現正相關，並根據 IPCC(2007) 對於全球二氧化碳排放量增加變異程度進行推估。最後，依據本研究之研究結果，有以下建議僅供參考：台灣及日本的地理位置為颱風常經之處，加上颱風帶來強風及豪雨，往往造成慘重的災情。若未能及時動員救災物資，將釀成更大傷害及損失，兩國政府均應加強因應颱風來襲之機制，建立評估和預測氣候變遷衝擊的方法與能力，並提出量化的方法和可行的調適策略，讓農民能在第一時間做好防颱準備。

不論是全台或分區，颱風瞬間最大風速對於稻米災害損失的影響均大於累積降雨量，其中最大瞬間風速影響最大之地區為南部地區及東部地區，而稻米是台灣重要的農作物，此兩地區亦均為稻米生產的重要產區，故政府應針對此兩地區加強颱風災後復原的資源提供。

日本颱風最大瞬間風速的影響遠高過累積降雨量，其原因可能為日本的森林覆蓋率高達七成，故較不怕雨量的襲擊；而台灣的森林覆蓋率約四成左右，若能增加森林的面積，有助於減少颱風累積降雨量對於農作物的影響。

對於氣候變遷影響西北太平洋熱帶氣旋的次數及強度影響，各國政府均應加強調溫室氣體排放所造成的氣候變遷影響，不論自然生態或是人文社會的影響，提高人類對於溫室氣體排放的重視，並進一步找到控制氣候變遷的因子，降低對於世界的影響程度，使人類在了解未來生態環境限制下，積極規劃社會經濟發展策略，以達到永續發展的目標及面對未來全球變遷的課題。

加強碳捕捉與封存技術，同時減少溫室氣體排放，根據工研院研究指出，臺灣二氧化碳總排放量為全球第 22 名，占全球排放量約 1%，預料將面臨強大減量壓力。

而在眾多的減排選項中，二氧化碳捕捉封存技術的貢獻度大且可行性高，而且臺灣具備發展 CCS 的先天優勢地質環境(例如西部巨厚沉積岩)。二氧化碳捕捉與封存技術(Carbon capture and storage, CCS)，因其可提供世界大部分地區一個大量緩和二

氧化碳排放的可能性，是國際間認為相當有淺力的二氧化碳減量機制。所謂「碳捕和封存」指的是針對二氧化碳的加以捕捉、運送後注入地下水層、舊油氣田等地，藉由地層之封閉與吸附，予以長期封存，以解決二氧化碳排放的問題。碳捕捉與封存技術，國外已發展多年，累積了大量研究成果，證明二氧化碳的地質封存，可行性頗高。雖然二氧化碳捕捉與封存技術，提供了一個暫時減緩二氧化碳排放的可行方向。但最根本的方式還是需要降低二氧化碳的排放量。正視農業科學，建立大數據(Big Data)，資料科學是建立獲取快速正確的資料來源，以分析、評估關鍵表現與績效指標，進而建構成功的成長策略。而鉅量資料就是那整理分析的源頭，資料科學則是藉以依循達到成功境界的道路。目前在農業上利用鉅量資料的案例甚少，楊純明(2014)建議可以根據從事農業大策略面向的應用，包含藉由經濟社會面向歸納整理農產業的發展方向、開創新型農產業或規劃國家未來的農業發展；或從農業科技研發面向評估國家最適農產業科技研發方向或科研投入；以及組織及其功能調整面向建立、改進或更新農產業價值鏈，並進而回饋於組織的改造及功能的調整。

在氣候變遷情境下，臺灣的缺水頻率將越來越高，政府可以藉機建立農業 Big Data，以利度過未來更多的乾旱及其他氣象災情，達到適時適地適種。早在 20 世紀，日本、美國就開始積極發展與利用農業氣象科技，應用在農業氣象預報、分區栽培、氣象資源開發利用等(林慧貞，2015)。而臺灣政府應當更重視農業氣象，建立 Big Data，透過資料整理、分析與套疊，並考量農民習性和產銷市場等，規劃氣象災害的因應措施及加快農作物的復原。

二、研究限制與未來研究方向

(一)研究限制

在臺灣方面，由於本研究是依據行政劃分區將臺灣劃分為 15 個地區，然而目前臺灣地區的氣象觀測站未在苗栗、彰化、雲林地區設立觀測站，故本研究僅以 12 個縣市的觀測氣象資料為主，故將缺乏 3 個地區的歷年颱風氣象資料。以致無法完整觀察臺灣各地區稻米受颱風氣象因子之影響。

而日本方面，由於日本並未提供各地方氣象觀測站之颱風氣象資訊，使本研究無法

利用追蹤模型(Panel Data Model)計量方法觀測，無法同時考慮橫斷面資料(cross section)與時間序列資料(time section)，而橫斷面資料即同一時間上不同區域之數據，時間序列資料則是同一區域不同時間點之資料，單一使用其依資料做研究則會有局限性，故僅能了解日本地區颱風對於稻米損失的相關性；另外樣本資料範圍上，日本官方資料近年僅提供颱風對於所有農作物災害損失價值，並未統計個別農作物損失之價值如稻米等，故本研究樣本資料範圍是從 1987 年到 2004 年，然缺乏近年日本颱風對於稻米災害損失價值資料，以致無法詳細了解近年颱風對於日本稻米損失影響。

(二)未來研究方向

納入更多變數因子之考量，在衡量全球氣候變遷分析與估計全球暖化對於西北太平洋熱帶氣旋時，礙於非專精於大氣物理及地球科學領域，故本研究僅利用蒐集海平面溫度及全球二氧化碳排放量資料來探討與熱帶氣旋發生次數與強度之關聯性，雖然目前熱帶氣旋生成與強度是科學家無法完全解析之現象，唯一確定的影響因子僅有海平面溫度，但其影響因素可能包含大氣氣壓、環流、風切變化等，尚待未來研究可將這些複雜的大氣因素納入研究考量。

臺灣因所處地理位置與地形條件其氣象變化複雜，引起的天然災害種類多樣且頻繁，尤其稻米為依賴維生之農作物，其深受環境與天然災害之影響，而其中以颱風為造成損失為最主要風險事故。為了落實農作物天然災害之風險管理，有必要詳細了解臺灣地區稻作之政府現金救助金及颱風災害保險費率範圍。

另外，日本地區因為地緣及歷史背景與臺灣相似，若能進步分析探討日本對於天然災害的保費費率與補助，有助於臺灣政府了解鄰近國家地區的農業政策。